

VŠB - technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra energetiky

Návrh malé vodní elektrárny

Project of Small Hydropower Plant

Autor: Jakub Klein

Vedoucí práce: doc. Ing. Vrtek Mojmír, Ph.D.

Ostrava 2016

## Zadání bakalářské práce

Student: **Jakub Klein**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 3904R016 Technika tvorby a ochrany životního prostředí  
Téma: **Malá vodní elektrárna**  
**Small Hydro Power Plant**  
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Zpracujte návrh malé vodní elektrárny pro vybranou lokalitu.

Práce bude obsahovat:

1. Rešerši na téma typy vodních turbín používaných v malých vodních elektrárnách.
2. Popis a analýza hydropotenciálu vybrané lokality.
3. Návrh výkonových parametrů a skladby turbín v malé vodní elektrárně.
4. Energetické, ekonomické a environmentální zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

KAMINSKÝ, J., VRTEK, M. *Obnovitelné zdroje energie*. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 1998. 102 s. ISBN 80-7078-445-8.

KMINIAK, P. *Vodné mikroelektrárne*. 1. vyd. Bratislava: ALFA, 1990. ISBN 80-05-00771-X.

GABRIEL, P., ČIHÁK, F., KALANDRA, P. *Malé vodní elektrárny*. Praha: ČVUT, 1998. ISBN 80-01-01812-1.

GULLIVER, J., S., ARNDT, R., E., A. *Hydropower engineering handbook*. 1. vyd. New York: McGraw-Hill, 1991. ISBN 0-07-025193-2.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Mojmír Vrtek, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016

  
prof. Ing. Dagmar Juchelková, Ph.D.  
vedoucí katedry



  
doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

### **Místopřísežné prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: 16.5. 2016

Klein Jakub  
.....  
podpis student

### Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.

- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).

- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.

- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.

- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: .....

16.5.2016

Klein Jakub  
.....  
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Jakub Klein

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Nálepкова 966, Ostrava Poruba, PSČ: 70800

## **Poděkování**

Na tomto místě bych rád poděkoval svému školiteli panu doc. Ing. Mojmíru Vrtkovi, Ph.D. a dalším členům katedry energetiky za odborné rady a čas, který mi věnovali při tvorbě této bakalářské práce. Velké poděkování patří celé mé rodině za podporu a trpělivost během mého studia.

## **Anotace**

KLEIN, J. *Malá vodní elektrárna: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2016, 48s. Vedoucí práce: Vrtek, M.

Bakalářská práce se zabývá vodní energetikou u nás, návrhem malé vodní elektrárny a na konec zhodnocením celého projektu. V rešeršní části jsem se zabýval hlavně typy vodních turbín, které jsou využívány v energetice. V praktické části jsem se zabýval danou lokalitou Ostrava-Svinov, vodní tok Odry. Z hydrologických údajů jsem navrhl turbínu pro malou vodní elektrárnu a v závěru jsem provedl energetické, ekonomické a environmentální zhodnocení malé vodní elektrárny.

## **Anotation of bachelor thesis**

KLEIN, J. *Project of Small Hydropower Plant: Bachelor Thesis*. Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Power Engineering, 2016, 48p, Thesis head: Vrtek, M.

This thesis deals with hydropower in our country, designing small hydro and evaluation at the end of the project. In the research part I focused mainly types of water turbines which are used in the energy sector. In the practical part I dealt with the site Ostrava-Svinov, watercourse Odra. From the hydrological data I have designed a turbine for small hydropower station and in the end I made the energetic, economic and environmental assessment of small hydropower plants.

## Obsah

Seznam veličin, jednotek a zkratk .....	8
1. Úvod.....	9
2. Kde se staví MVE .....	10
3. Dělení MVE .....	11
4. Části MVE .....	11
5. Typy vodních turbín MVE.....	13
6. Praktická část .....	23
7. Stanovení průměrného teoreticky využitelného průtoku a průměrného prakticky využitelného průtoku.....	29
8. Stanovení množství vyrobené elektrické energie v jednotlivých časových intervalech ...	31
9. Stanovení součinitele využití instalovaného výkonu, odhad investičních nákladů .....	36
10. Doba návratnosti .....	37
11. Ekologie .....	43
12. Závěr.....	44
12. Literatura .....	45
13. Seznam obrázků .....	47
14. Seznam tabulek .....	48

## Seznam veličin, jednotek a zkratk

$Q_{\text{asan}}$	[m <sup>3</sup> /s]	Asanační průtok
$Q$	[m <sup>3</sup> /s]	Průtok dle odtokové křivky
$Q_{\text{teor-využ}}$	[m <sup>3</sup> /s]	Teoreticky využitelný průtok
$Q_{\text{prak-využ}}$	[m <sup>3</sup> /s]	Prakticky využitelný průtok
$\tau$	[dny]	Počet dní v roce, pro které bude alespoň průtok $Q$
$\Delta\tau$	[dny]	Četnost dní pro daný interval
$\eta$	[%]	Celková účinnost
$\eta_{\text{jurb}}$	[%]	Účinnost turbíny
$\eta_{\text{gen}}$	[%]	Účinnost generátoru
$P$	[kW]	Výkon turbíny
$t_{\text{vp}}$	[kusy]	Počet turbín v provozu
$\rho$	[kg/m <sup>3</sup> ]	Hustota
$H$	[m]	Spád
$g$	[m/s <sup>2</sup> ]	Gravitační zrychlení
$A_{\text{el-100\%}}$	[kWh]	Teoretické množství vyrobené el. energie bez prostojů (tz. 100% využití času)
$A_{\text{el}}$	[kWh]	Reálné množství vyrobené el. energie s časovými prostoji (tz. 95% využití času)
$m$	[-]	Součinitel využití MVE
$A_{\text{el-rok}}$	[kWh]	Množství vyrobené el. energie za rok
$A_{\text{el-vl}}$	[kWh]	Provozní spotřeba
$k_r$	[-]	Součinitel instalovaného výkonu
$w_r$	[kWh]	Vyjadřuje množství vyrobené el. energie za rok
$P_i$	[kW]	Instalovaný výkon
$h$	[hod]	Počet hodin, které má rok
$RVP_i$	[kWh/kWe]	Roční využití instalovaného výkonu
$IN$	[Kč]	Celkové investiční náklady
$MIN$	[Kč]	Měrné investiční náklady
$CF$	[Kč]	Příjmy
$vc$	[Kč]	Výkupní cena el. energie
$T_s$	[rok]	Prostá doba návratnosti
$DCF$	[Kč]	Diskontovaný roční peněžní tok
$i$	[%]	Diskont
$n$	[rok]	Rok
$Tl_{\text{uš}}$	[kg/rok]	Ročně ušetřené tuhé látky



## 1. Úvod

Tuto bakalářskou práci jsem si vybral, protože je z obnovitelných zdrojů nejspolehlivější, to znamená, že vodní energie nemá takové výkyvy v dodávce elektřiny jako je třeba u větrné energie zapříčiněné tím, že jednou fouká, jednou nefouká, nebo u sluneční energie, kdy se střídá den a noc. Malé vodní elektrárny mají u nás velký potenciál, jelikož velké toky jsou, již zastavěny vodními elektrárnami, je zde mnoho menších řek a starých opuštěných podniků, kde dříve fungovala právě malá vodní elektrárna. Takže buď se staví úplně nové malé vodní elektrárny, ale je to velice nákladné, anebo se obnovují zastaralé, už nefungující malé vodní elektrárny.

V rešeršní části mé práce jsem popsal typy vodních turbín, jejich rozdělení a části vodní elektrárny. Dále jsem se v praktické části zaměřil na danou lokalitu Ostrava-Svinov vodní tok Odry, kde již v dnešní době mala vodní elektrárna stojí. Navrhl jsem vodní turbínu, spočítal její parametry a nakonec celý projekt energeticky, ekonomicky a environmentálně zhodnotil.

## 2. Kde se staví MVE

Malé vodní elektrárny jsou stavěny na menších tocích, kolem mlýnů či jezů, bývají na ně použity relativně levné komponenty a tím se stávají ekonomičtější. Na rozdíl od velkých vodních elektráren, tyto jsou velmi často přizpůsobovány podmínkám dané lokality, kde jsou stavěny. Vznikaly na našem území po celá staletí a povětšinou, na rozdíl od velkých děl, okolní krajině prospívají. Například napomáhají okysličování vody, zabraňují odplavování hornin či regulují vodní odtok z krajiny.

MVE a jejich funkce patří do obnovitelných zdrojů. Co jsou to obnovitelné zdroje energie? Mají dvě nesporné výhody, jak už plyne z jejich názvu, jsou obnovitelné, čili nevyčerpatelné a také při tvorbě energie neprodukují žádné emise ani odpady, obejdou se bez zásobování palivy a nemají přílišné nároky na údržbu. Na rozdíl od fotovoltaických nebo větrných elektráren nekolísá množství jimi vyprodukované elektrické energie podle střídání dne a noci nebo okamžitých změn počasí. Dodávky lze lépe plánovat a nedochází tak k nárazovému přetěžování elektrizační soustavy. Malé vodní elektrárny navíc často bývají provozovány v místech, kde je přinejmenším část jimi vyrobené energie spotřebovávána, čímž odpadají ztráty vznikající při jejím přenosu na dlouhé vzdálenosti.

V podstatě jediným ekologickým úskalím malých vodních elektráren může být jejich potenciálně negativní vliv na ekosystémy toků, jejichž vodu využívají. Jde o zásahy do okolní přírody při výstavbě elektrárny, vytvoření překážky bránící přirozené migraci ryb a vodních živočichů a především pak možné narušení ekosystému velkým odběrem vody. Při dodržení podmínek pro výstavbu a provoz elektrárny stanovených v rámci vodoprávního a stavebního řízení by však všechna tato nebezpečí neměla přírodu nijak ohrozit. Případné nedodržení těchto podmínek bývá přísně postihováno.

Na vodních tocích jsou stavěny malé vodní elektrárny, které podle České republiky mají výkon do 10 MW, ovšem podle směrnic Evropské Unie mají malé vodní elektrárny výkon pouze do 5 MW. Většina energie, která se vytvoří v těchto elektrárnách, pochází z výkonnějších, čili 10MW projektů. [1,2,3,16,17]

### 3. Dělení MVE

Malé vodní elektrárny se dělí podle různých kritérií. I mezi malými vodními elektrárnami můžeme dále rozlišovat elektrárny menší a větší, lišit se mohou i v jiných parametrech. [2,3,6,16]

Podle spádu	Podle výkonu	Podle využití vody
nízkotlaké (do 20 m)	průmyslové (od 1 MW)	průtokové
středotlaké (20 - 100 m)	minielektrárny (do 1 MW)	akumulační
vysokotlaké (od 100 m)	mikrozdroje (do 0,1 MW)	přečerpávací
	domácí (do 35 kW)	

**Tab. 3.1** Rozdělení vodních elektráren

### 4. Části MVE

#### *Vzdouvací zařízení*

Zpravidla potřebujeme zvýšit hladinu vodního toku a vodu nasměrovat do přivaděče. K tomu slouží hráze nebo jezy. Stavět novou hráz kvůli MVE je zpravidla ekonomicky neúnosné, naopak výhodné je využít hráze již postavené a instalovat turbínu třeba u její základové výpusti. Turbínu lze instalovat také na přivaděčích pitné vody. Stavba jezu je možná, avšak prodražuje se s jeho šířkou, na větších tocích je navíc nutná speciální mechanizace a zvětšuje se i množství potřebných povolení či jiných překážek (nutnost průjezdu lodí atd.).

#### *Přivaděče*

Přivaděč je zařízení soustřeďující spád k místu osazení turbíny. Přivaděče mohou být beztlakové (náhony a kanály) nebo tlakové (potrubí). Přivaděče beztlakové - náhony a kanály se zpravidla budují výkopem v terénu. Náklady rostou v závislosti na délce přivaděče, na příčné svažitosti terénu a také na typu zeminy, který určuje způsob opevnění stěn přivaděče. I zde je výhodné využít již dříve vybudovaného náhonu. V případě, že je původní náhon zavezen nebo rozebrán, vyplatí se budovat nový náhon na stejném místě kvůli jednoduššímu získání a zaměření pozemku. Přivaděče tlakové - tlakovým přivaděčem bývá zpravidla ocelové, plastové nebo železobetonové potrubí. Měrné náklady na výstavbu tohoto typu přivaděčů jsou vyšší než u přivaděčů

beztlakových. Oba typy lze kombinovat pro dosažení maximálního spádu a minimálních nákladů.

### ***Česle***

Česle slouží jako ochrana před vniknutím nečistot a jiných předmětů plovoucích ve vodě do turbíny. Obvykle jsou to ocelové mříže, jedna hrubší a jedna jemnější plus tzv. hrabačka, která zajišťuje čištění česlí.

### ***Strojovna***

Strojovna v sobě skrývá strojní a elektrotechnické vybavení elektrárny.

### ***Stavební část turbíny***

Stavební část turbíny tvoří základy, kašna, betonová spirála atd., podle typu turbíny. Při volbě typu turbíny bychom měli pamatovat i na stavební část. Dražší, ale kompaktnější turbína může náklady na stavební část snížit.

### ***Odpadní kanály a jalový kanál***

Odpadními kanály se voda vrací zpátky do koryta řeky. Bývají krátké, a tedy i méně nákladné. Jalový kanál zajišťuje průtok mimo turbínu v době její nečinnosti, při opravě apod.

### ***Vodní kolo***

I dnes můžeme jako vodního motoru využít vodního kola. Uplatnit jej lze u spádů do 1 m při průtocích do několika m<sup>3</sup> / s.

### ***Vodní turbína***

Vodní turbína je točivý mechanický stroj, který přeměňuje kinetickou či tlakovou energii vody na mechanickou energii. Předchůdcem vodní turbíny bylo vodní kolo (známé také jako mlýnské kolo). Spolu s elektrickým generátorem resp. alternátorem spojeným s turbínou je hlavní součástí vodních elektráren. Generátor převádí mechanickou energii turbíny na energii elektrickou. [1,2,3,15]

## **5. Typy vodních turbín MVE**

### ***Podle orientace proudění***

- tangenciální
- radiální
- diagonální
- axiální

### ***Podle tlaku***

- rovnotlaká
- přetlaková

### ***Podle polohy***

- horizontální
- vertikální

### ***Podle celkové konstrukce***

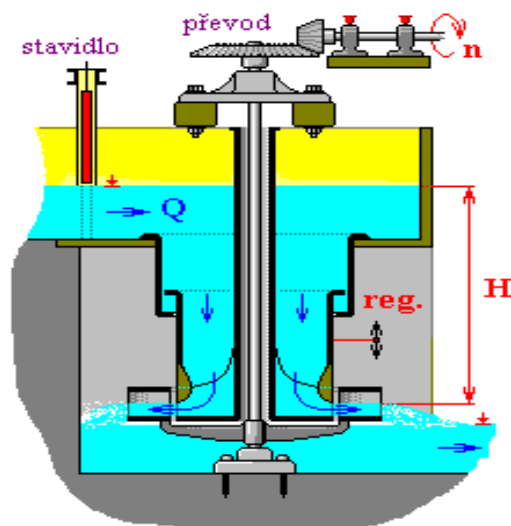
- Fourneyronova turbína
- Peltonova turbína
- Francisova turbína
- Kaplanova turbína
- Dériazova turbína
- Bánkiho turbína
- Savoniova turbína
- Davisova turbína
- Turgo turbína
- Teslova turbína

- turbína SETUR
- Henckelova turbína
- Zupingerova turbína
- Girardova turbína
- Vírové turbíny pozn. dále je uvedeno několik turbín, které se vyskytují se shodným názvem vírová turbína, rozděleny jsou standardně podle jména vynálezce, nebo vedoucího týmu, přestože prozatím žádné běžně užívané jméno nemají
- Zotlötererova turbína
- Vírová turbína Františka Pochylého
- Vírová turbína Bedřicha Kašpaříka
- HONE turbína

[2,3,4,5,15]

### ***Fourneyronova turbína***

Typově se jedná o přetlakovou vertikální turbínu s centrifugálním průtokem. Její konstrukční řešení nasvědčuje spolehlivému využití spádů od 1 do 5 metrů. Stavěla se až do výkonu 40kW. Její hlavní nevýhodou byla značná složitost, těžkopádná regulace, pomaluběžnost a citlivost na nečistoty. Přes tyto nedostatky byla dobrým motorem pro pohon přádelen, tkalcoven, skláren, železáren a všech větších manufaktur v první polovině 19. století. Jako pomaluběžný stroj nebyla citlivá na proměnné zatížení, jak bylo nutné pro přímý mechanický pohon (protože jiný se v době jejího vzniku nepoužíval). Na všech lokalitách, kde byla v minulosti používána, byla vytlačena turbínou Girardovou a posléze přetlakovou turbínou Francisovou. [4,5,7]



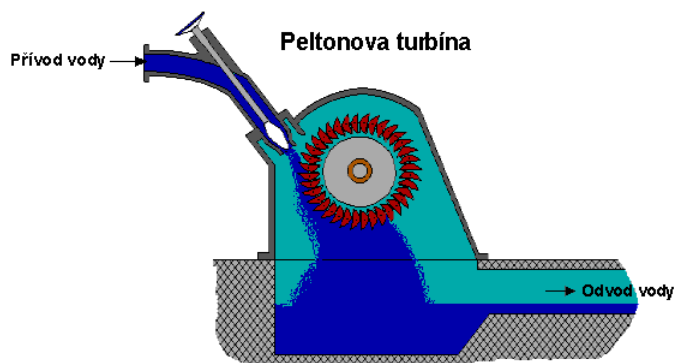
**Obr. 5.1** Fourneyronova turbína [7]

### ***Peltonova turbína***

Je rovnotlaká turbína s parciálním tangenciálním ostřikem. Účinnost u malé turbíny je 80 až 85%, u velké 85 až 95%. Peltonova turbína byla vynalezena Lesterem Allanem Peltonem (1829–1908) v roce 1880. Peltonova turbína je tangenciální rovnotlakou turbínou. Voda proudí tečně na obvod rotoru pomocí trysek. Rozvaděčem je dýza na přívodním potrubí, z níž voda vystupuje kruhovým paprskem a dopadá na lopatky lžičkovitého tvaru. Každá z lopatek se postaví proti směru toku vody a tak otočí její směr. Výsledkem vzniklých sil je pohyb rotoru turbíny. Peltonova turbína je nejefektivnější v případě vysokého tlaku přívodní vody. Jelikož voda je jen obtížně stlačitelná, téměř všechna její energie je předána turbíně. Proto stačí pouze jediné oběžné kolo k převedení energie vody na energii rotoru.

Průtok vody a tím i výkon turbíny se reguluje změnou výtokového průřezu dýzy zasouváním regulační jehly. K posuvu jehly se většinou používá servomotor. Rychlý zásah regulace – snížení výkonu – se provádí odkloněním vodního paprsku

Peltonovy turbíny se používají pro vysoký spád vody a malý průtok. Jsou vyráběny ve všech možných velikostech. Pro použití v energetice se používá vertikální uložení a výkon až 200 MW. Nejmenší turbíny jsou veliké několik desítek centimetrů a používají se pro malé vodní elektrárny s velkým spádem. Rozsah použití je od 15 m až po 1800 m. [2,3,4,5,8]



**Obr. 5.2** Peltonova turbína [8]

### ***Francisova turbína***

Dříve to byla nejpoužívanější přetlaková turbína pro širokou škálu průtoků a spádů. Oprava starších turbín tohoto typu se vyplácí především od spádu 3 m výše. Nové Francisovy turbíny se dnes instalují od spádu 10 m výše a při vyšších průtocích, tedy tam, kde jde o vyšší výkony.

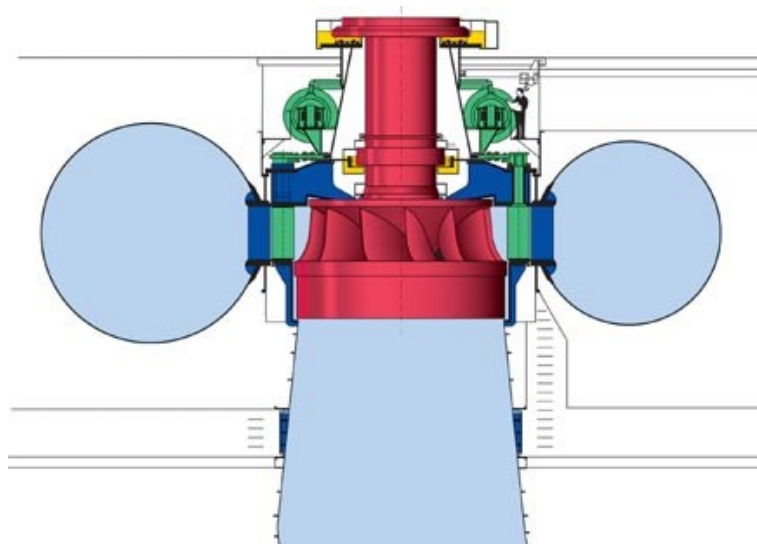
Francisova turbína je přetlaková turbína, což znamená, že pracovní kapalina během své cesty strojem mění tlak a přitom odevzdává svou energii. Oběžné kolo (rotor) turbíny se nachází mezi vysokotlakým přívodem a nízkotlakou savkou většinou v patě přehrady.

Vstupní potrubí má tvar spirály. Voda je pomocí věnce rozváděcího kola (tangenciálně) směřována na oběžné kolo. Lopatky rozváděcího kola jsou někdy konstruovány jako stavitelné, aby se turbína mohla (do určité míry) přizpůsobit různému vodnímu průtoku. Z oběžného kola vystupuje voda ve směru osy otáčení (axiálně).

Jak voda prochází oběžným kolem, její rotační rychlost se zmenšuje a zároveň odevzdává energii oběžnému kolu. Tento efekt (spolu s působením samotného vysokého tlaku vody) přispívá k efektivitě turbíny.

Francisovy turbíny se používají v energetice. Používají se především pro střední stabilní průtoky a střední spády. Jsou výhodné zejména u přečerpávacích elektráren, kde lze turbínu zapojit jako pumpu. Například vodní elektrárna Dlouhé Stráně používá dvě Francisovy turbíny, největší reverzní turbíny v Evropě, každou o výkonu 325 MW. [2,3,4,5,9]

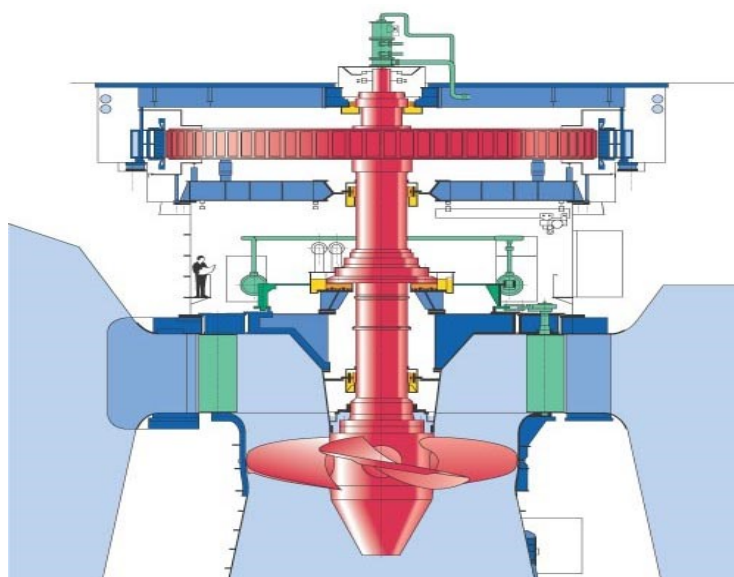




**Obr. 5.3** Francisova turbína [9]

### ***Kaplanova turbína***

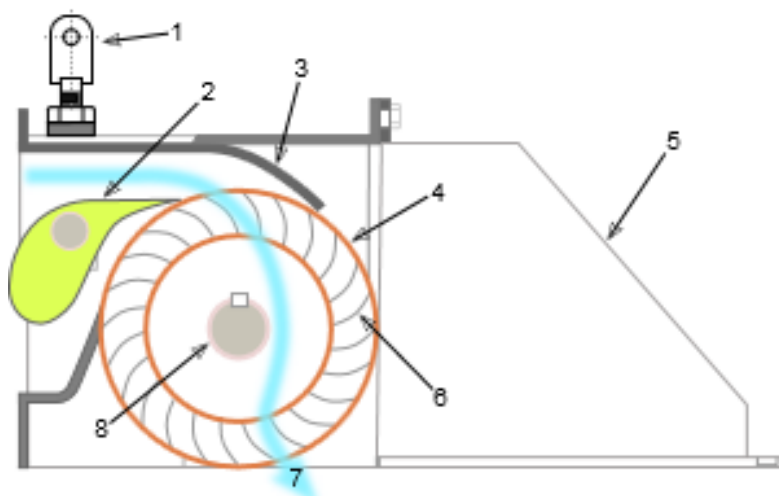
Tento typ přetlakové turbíny vyrábí v České republice v různých úpravách řada firem. Používá se pro spády od 1 do 20 m při průtoku 0,15 až po několik desítek  $\text{m}^3/\text{s}$ . Tato turbína je vhodná právě pro říční elektrárny. Turbínu vynalezl profesor brněnské techniky Viktor Kaplan. Od svého předchůdce, Francisovy turbíny, se liší především menším počtem lopatek, tvarem oběžného kola a především možností regulace náklonu lopatek u oběžného i rozváděcího kola. Má vyšší účinnost než Francisova turbína, ale je výrazně složitější a dražší. Používá se pro spády od 1 do 70,5 m (což je spád na vodní elektrárně na Orlíku) a průtoky 0,15 až několik desítek  $\text{m}^3/\text{s}$ . Největší hltnost na světě mají Kaplanovy turbíny na vodní elektrárně Gabčíkovo na Dunaji a to až  $636 \text{ m}^3/\text{s}$ , při spádu 12,88–24,20 m. Obecně se dá říct, že se používá především na malých spádech při velkých průtocích, které nejsou konstantní. V závislosti na rozdílu hladin může být instalována buď se svislou, nebo s vodorovnou osou otáčení. [2,3,4,5,10]



**Obr. 5.4** Kaplanova turbína [10]

### ***Bankiho turbína***

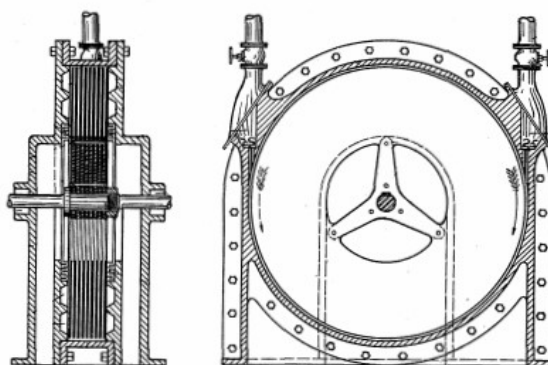
Je jednoduchá rovnotlaká vodní turbína. Zvláštností je, že lopatky oběžného kola jsou obtékány ve dvou směrech. Oběžné kolo Bánkiho turbíny je tvořeno dvěma kruhovými deskami, mezi nimiž jsou jednoduché lopatky (připomíná mlýnské kolo). Kolo je uloženo ve skříni, z níž z jedné strany přitéká usměrněný proud vody. Voda přes lopatky vtéká dovnitř kola a odtud opět přes lopatky vytéká na druhé straně skříně ven. Při každém průtoku lopatkami odevzdá část své energie. Tento typ turbíny je pro svou konstrukční jednoduchost oblíben u malých vodních elektráren, kde by konstrukce dokonalejších (a tím i dražších) typů turbín nebyla ekonomická. Je to jediný typ turbíny, která je zhotovitelná i amatérsky s dobrou účinností. [2,3,4,5,11]



**Obr. 5.5** Bankiho turbína [11]

### ***Teslova turbína***

Je bezlopatková turbína, kterou si nechal patentovat Nikola Tesla v roce 1913. Turbína je založena na principu tření mezi proudícím médiem (kterým může být voda, ale třeba i pára či jiný plyn nebo kapalina) a povrchem rotoru turbíny. Rotor turbíny se skládá ze sady disků, mezi nimiž proudí usměrněné médium. Díky tření o povrch disků vzniká síla, která disky uvádí do pohybu. Samotné médium předává svou energii rotoru, jeho rychlost klesá a po spirálové dráze se přesouvá ke středu turbíny. Zde je odtokový otvor. [12]



**Obr. 5.6** Teslova turbína [12]

### ***Turbína SETUR***

Je na začátku 21. století jednou z konstrukčně nejjednodušších známých rotačních turbín, konstrukční jednoduchostí srovnatelných s Teslovou turbínou. Výrobce uvádí její účinnost zhruba 66%. Pracovním médiem jsou viskózní tekutiny, tedy kapaliny i plyny. K principu fungování: bezlopatkové turbíny SETUR pracují na základě dosud nevyužívaných jevů, jejichž teoretická podstata se nyní stala předmětem vědeckého výzkumu. Pracovní médium vtékající do statoru uvede rotor do pohybu. Rotor se při chodu odvaluje po stěnách statoru, vykonává tedy jak rotační, tak precesní pohyb. Využívá se spirálního proudění v mezeře mezi rotorem a státorem. Bezlopatkové turbíny SETUR mohou díky svému uspořádání využívat zcela novým způsobem dějů, které se odehrávají v mezních vrstvách pracovního média - viskózní tekutiny. Zvláštností a současně výhodou je, že se skládají z malého počtu dílů, které mají pouze rotační tvary a povrch rotoru i statoru je zcela hladký – bezlopatky SETUR se využívá tam, kde je třeba pohybu rotačního, precesního, mikrovibrací, případně rozstříku média. Při návrhu konstrukce SETUR, jakožto nového typu turbíny, byl kladen důraz na univerzálnost, jednoduchost a malý počet součástí. Z těchto důvodů se turbíny SETUR vyznačují nenáročností na údržbu, spolehlivostí, úsporností a širokou škálou použití. Využitelná pro spády od 3,5 do 20 m a průtoky od 0,004 m<sup>3</sup> / s do 0,02 m<sup>3</sup> / s. [13,4]



**Obr. 5.7** SETUR turbína [13]

### ***Girardova turbína***

Typově se jedná o rovnotlakou vertikální turbínu s axiálním průtokem a ve většině případů s parciálním ostřikem. Používala se od spádu 0,5 metru až do 50 metrů. Největší stroje dosahovaly hlnosti až 6000 l/s a výkonu až 1,5 MW. Dosahovala účinnosti 80%. Průměrná rychloběžnost byla 0,025 (tzn. ve starších jednotkách 30 ot/min při spádu 1 metr a výkonu 1 HP) [4,18]

### ***Hänelova turbína***

Typově se jedná o mezní vertikální turbínu s plným ostřikem a axiálním průtokem. Přesný rozsah použití se v dostupné literatuře neuvádí. Její konstrukční řešení nasvědčuje spolehlivému využití spádů od 0,5 do 5 metrů. [4,18]

### ***Henschel-Jonvalova turbína***

Typově se jedná o axiální přetlakovou vertikální turbínu s přímou savkou, regulovanou škrcením na výstupu. Stavěla se na spády již od 0,6 metru a byla použitelná až do spádu 40 metrů. Její účinnost při plném otevření dosahovala až 85%. Maximální dosažená hlnost byla 22m<sup>3</sup> /sec a výkon 1,1MW. Typická rychloběžnost tohoto vodního motoru se pohybovala v rozmezí  $n_s = 205$  až 263, podle geometrie lopatek. Oběžné kolo mělo průměr až 5 metrů. [4,18]

### ***Knopova turbína***

Typově se jedná o mezní vertikální turbínu s plným ostřikem a axiálním průtokem. Přesný rozsah použití se v dostupné literatuře neuvádí. Její konstrukční řešení nasvědčuje spolehlivému využití spádů od 0,5 do 5 metrů. [4,18]

### ***Reiffensteinova turbína***

Turbína patří k poměrně málo rozšířeným přetlakovým vodním motorům. Používá se na spádech od 5 do 35 metrů při malých a středních průtocích (přibližně od 100 do 5000 ltr./sec.). Tam, kde je to výhodné může být osazena i na spádech menších. Jedná se o turbínu se spirální skříní. [4,18]

### ***Schwamkrugova turbína***

Jedná se o otevřenou rovnotlakou horizontální turbínu s parciálním ostřikem a odstředivým průtokem. Přesný rozsah použití se v dostupné literatuře neuvádí. Její konstrukční řešení nasvědčuje spolehlivému využití spádů od 2 do 30 metrů. Účinnost se uvádí okolo 80%, podle provedení.

### ***Turbína Turgo***

Typově se jedná o rovnotlakou turbínu s parciálním ostřikem. Účinnost 85...90% (platí při plnění 40...100%, již při plnění nad 20% vyšší než 70%).[4,18]

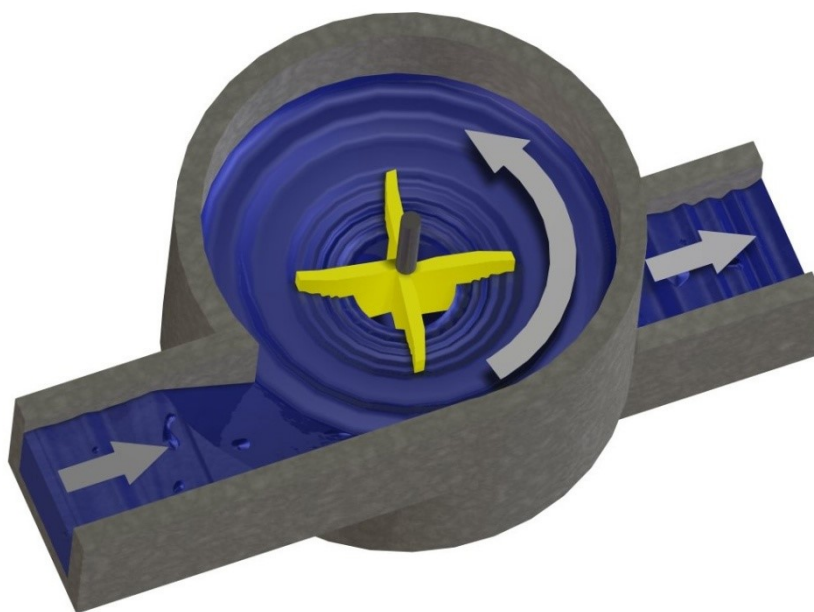
### ***Zuppingerova turbína***

Typově se jedná o rovnotlakou vertikální turbínu s odstředivým průtokem a parciálním ostřikem. Přesný rozsah použití se v dostupné literatuře neuvádí. Její konstrukční řešení nasvědčuje spolehlivému využití středních a vyšších spádů při malých průtocích. Tedy v oblasti, kde se v té době již nedala použít vodní kola.

### ***Vírová elektrárna***

Je poměrně nový typ vodní elektrárny, pilotní projekt byl realizován teprve v roce 2005 v rakouském Ober-Grafendorfu, při spádu 1,5 metrů a průtoku 0,9 kubických metrů za vteřinu s instalovaným elektrickým výkonem 10 kW, celé soustrojí i s alternátorem tedy pracovalo s účinností 74 %. Srdcem elektrárny je betonová konstrukce sestávající z přivaděče, kruhové nádrže, v jejímž středu je odtokový otvor, nad nímž je umístěna turbína, krátkého odpadu a pomocných betonových konstrukcí. Voda přitéká přivaděčem do nádrže, začíná kroužit kolem vnější stěny, dochází tak ke vzniku víru, čím je blíže středovému otvoru, tím dosahuje vyšší rychlosti, nakonec voda

s nejvyšší rychlostí naráží na lopatky speciální turbíny, kterým předává značnou část své energie, následně opouští turbínu otvorem, který se nachází pod ní. Turbína následně pohání již standardní vybavení MVE, ovšem je teoreticky možné její energii využít i pro jiné aplikace. Nespornou výhodou tohoto typu elektrárny je šetrnost k životnímu prostředí a zlepšení provzdušnění vody se všemi jeho dopady, jednoduchost konstrukce, možnost využívání i těch spádů, které jsou v současnosti za hranicí ekonomické návratnosti. Nevýhodou jsou limity výkonu, budovat elektrárny s výkonem větším, než asi 150 kW se nevyplatí, neboť standardní řešení MVE mají již daleko lepší ukazatele, například roční množství vyrobené elektřiny. [4,14]



**Obr. 5.8** Vírová turbína [14]

## 6. Praktická část

Návrh malé vodní elektrárny jsem udělal pro oblast Ostrava-Svinov, vodní tok Odry. Navrhuji dvě stejně velké turbíny pro rychlejší a snadnější údržbu. Počítám s odstávkou 2 dny z důvodů oprav a údržby zařízení malé vodní elektrárny.

### Hydrologické údaje

Spád  $H = 3,3 \text{ m}$

Asanační průtok  $Q_{\text{asan}} = 0,73 \text{ m}^3/\text{s}$

Průtok  $Q$  naměřený v lokalitě tabulka 6.1

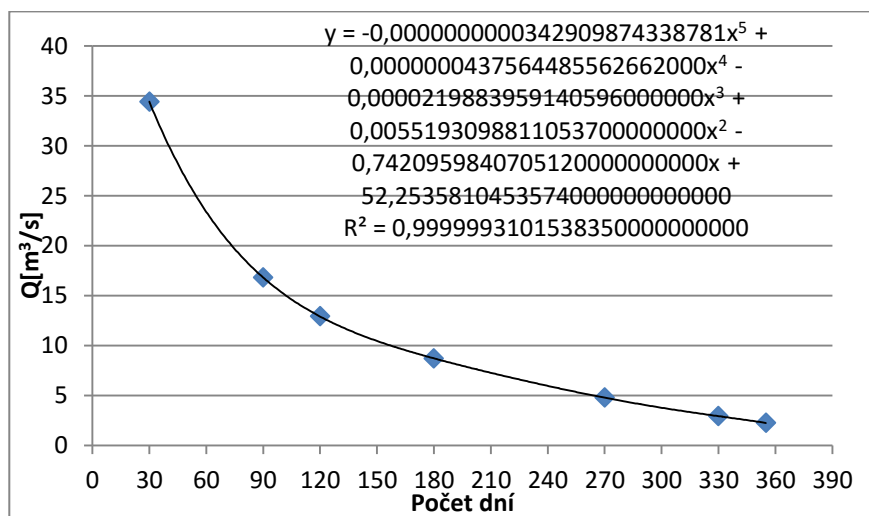
$\tau$ [dny]	30	90	180	270	330	355	364
$Q$ [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]	34,40	16,80	8,71	4,79	2,93	2,26	1,79

**Tab. 6.1** Naměřené průtoky v lokalitě (neúplná tabulka)

Návrh turbíny budu dělat pro 90 až 120 denní průtok. V tabulce 6.1 se nenachází 120 denní průtok, tak jej dopočítáme a pro lepší názornost i další průtoky rozdělené po 30 dnech.

### **Postup řešení:**

Z tabulky 6.1 vytvoříme bodový graf a následně proložíme těmito body spojnici trendu a zobrazíme rovnici regrese, ze které následně dopočítáme zbylé průtoky  $Q$  a to tak, že za  $x$  dosazujeme dny, ve kterých chceme znát průtok a výsledné  $y$  je náš hledaný průtok.



**Obr. 6.1** Pomocný graf s rovnicí regrese pro dopočítání ostatních průtoků

Výpočet 120 denního průtoku:

$$\begin{aligned}
 y = & (-0,00000000000342909874338781 \cdot 120^5) \\
 & + (0,00000000437564485562662000 \cdot 120^4) \\
 & - (0,00002198839591405960000000 \cdot 120^3) \\
 & + (0,00551930988110537000000000 \cdot 120^2) \\
 & - (0,74209598407051200000000000 \cdot 120) \\
 & + 52,25358104535740000000000000 = 12,92 \text{ [m}^3/\text{s]}
 \end{aligned}$$

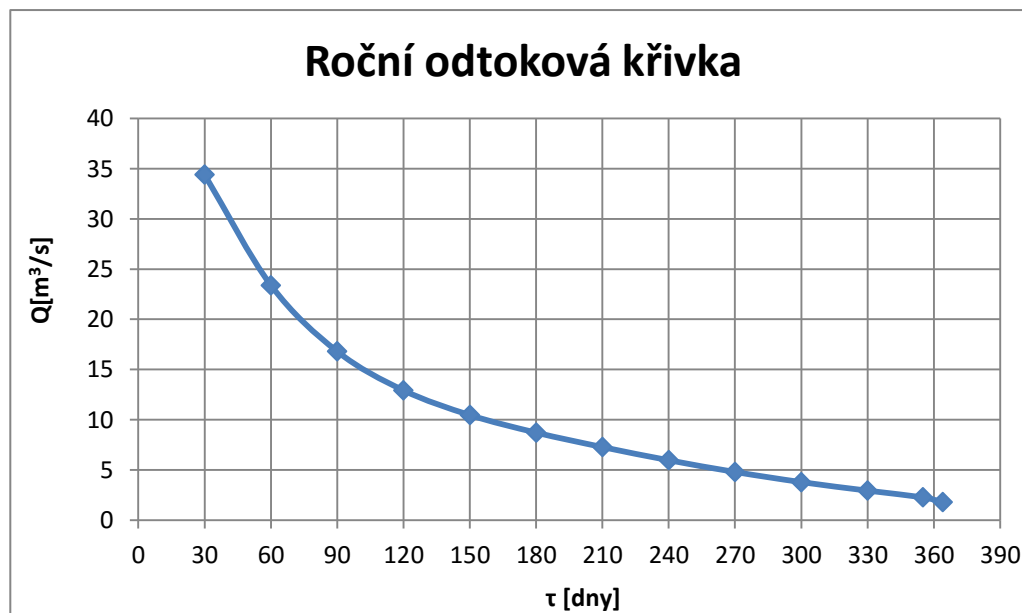
Stejným způsobem dopočítáme pro úplnost 60,150,210,240,270,300 denní průtoky.

Úplná tabulka:

$\tau$ [dny]	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	355	364
$Q$ [m <sup>3</sup> /s]	34,40	23,39	16,80	12,92	10,46	8,71	7,27	5,96	4,79	3,78	2,93	2,26	1,79

**Tab. 6.2** Úplná tabulka průtoků

Z úplné tabulky jsem si vytvořil odtokovou křivku, ta říká, po kolik dní v roce mohou počítat s určitým průtokem viz. obr. 6.2



**Obr. 6.2** Graf odtokové křivky



### ***Návrh turbíny***

Návrh provádím pro už zmíněný 90ti až 120ti denní průtok viz. tab. 6.2

#### **Postup návrhu:**

- zjistím střední hodnotu průtoku vybraného intervalu

$$\frac{16,80 + 12,92}{2} = 14,86 [m^3/s]$$

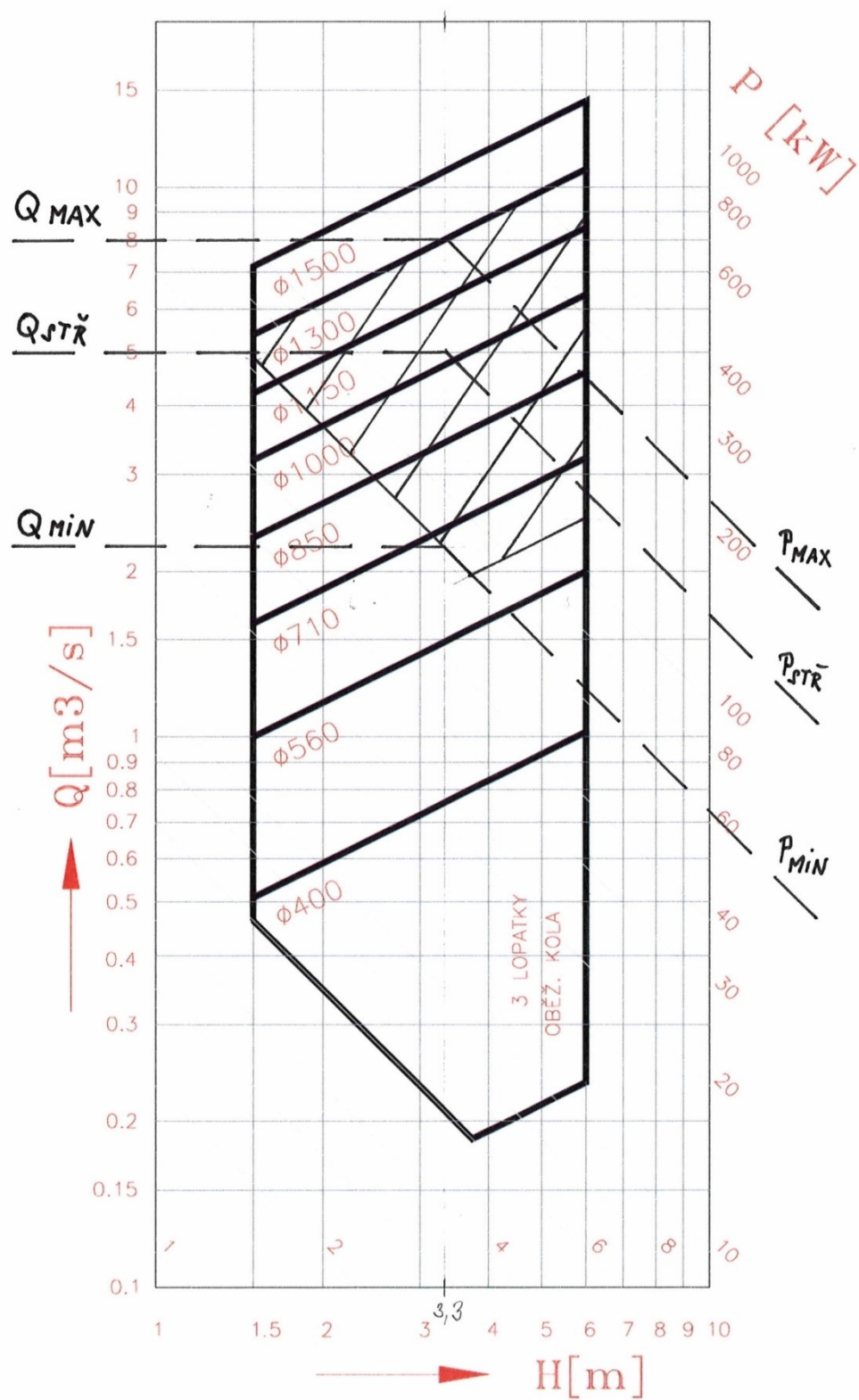
- odečtu asanační průtok

$$14,86 - 0,73 = 14,13 [m^3/s]$$

- průtok pro jednu turbínu tz. průtok na, který navrhují dvě stejné turbíny

$$\frac{14,13}{2} = 7,065 [m^3/s]$$

Pro tento spád a průtok jsem vybral dvě přímoproudé horizontální turbíny S-Kaplan.



Obr. 6.3 Diagram Kaplanovy turbíny [19]

Diagram turbíny na obr. 6.3 je v logaritmickém měřítku, proto k výpočtu průtoků  $Q_{\max}$ ,  $Q_{\min}$  a výkonů  $P_{\max}$ ,  $P_{\min}$  jsem použil rovnice pro logaritmování. Nejprve jsem musel určit základy logaritmů a to jak základ pro průtok, spád ty jsou stejné, tak pro výkon.

### Určení základu logaritmu pro průtok a spád

$$v = \log_x a - \log_x b \text{ [cm]} \quad (1)$$

Kde:

$v$ ... vzdálenost mezi průtoky v diagramu [cm]

$a$ ... hodnota průtoku na konci vzdálenosti  $v$  [cm]

$b$ ... hodnota průtoku na začátku vzdálenosti  $v$  [cm]

$x$ ... základ logaritmu [-]

Do rovnice jsem dosadil hodnoty z obr. 6.3

$$20,9 = \log_x 15 - \log_x 0,1$$

$$x = \sqrt[20,9]{150}$$

$$x = 1,27$$

Abych správně vyřešil grafické řešení musel jsem zjistit v diagramu přesnou vzdálenost  $v$  cm pro zadaný spád 3,3m.

Přesná vzdálenost  $v$  cm na ose  $x$ :

$$v = \log_{1,27} 3,3 - \log_{1,27} 1$$

$$v = \frac{\log_{10} 3,3}{\log_{10} 1,27}$$

$$v = 5 \text{ [cm]}$$

### Výpočet průtoků:

Výpočet vychází z výše uvedené rovnice (1)

$$\log_{10} a = v \log_{10} x + \log_{10} b$$

$$a = 10^{v \log_{10} x + \log_{10} b} [m^3/s] \quad (2)$$

#### Maximální průtok přes jednu turbínu

$$Q'_{max} = a = 10^{18,3 \log_{10} 1,27 + \log_{10} 0,1} = 8 [m^3/s]$$

#### Minimální průtok přes jednu turbínu

$$Q'_{min} = a = 10^{13 \log_{10} 1,27 + \log_{10} 0,1} = 2,23 [m^3/s]$$

#### Maximální průtok

Ten nastane, když jsou v chodu obě turbíny. K maximálnímu průtoku přičteme asanační průtok.

$$Q_{max} = 2 \cdot Q'_{max} + Q_{asan} = 2 \cdot 8 + 0,73 = 16,73 [m^3/s]$$

#### Minimální průtok

Nastane, když je v chodu jedna turbína. K minimálnímu průtoku přičteme asanační

$$Q_{min} = Q'_{min} + Q_{asan} = 2,23 + 0,73 = 2,96 [m^3/s]$$

## 7. Stanovení průměrného teoreticky využitelného průtoku a průměrného prakticky využitelného průtoku

Teoreticky využitelný průtok jsem vypočetl, tak že jsem od průtoku  $Q$  odečetl průtok asanační  $Q_{\text{asan}}$ . A průměrně prakticky využitelný průtok jsem sečetl počítaný teoretický využitelný průtok s předchozím teoretickým průtokem a podělím dvěma.

$\tau$	$\Delta\tau$	$Q$	$Q_{\text{asan}}$	$Q_{\text{teor-využ}}$	$Q_{\text{prak-využ}}$
30	28	34,40	0,73	33,67	16,00
60	30	23,39	0,73	22,66	16,00
90	30	16,80	0,73	16,07	16,00
120	30	12,92	0,73	12,19	14,13
150	30	10,46	0,73	9,73	10,96
180	30	8,71	0,73	7,98	8,86
210	30	7,27	0,73	6,54	7,26
240	30	5,97	0,73	5,24	5,89
270	30	4,79	0,73	4,06	4,65
300	30	3,78	0,73	3,05	3,56
330	30	2,93	0,73	2,20	2,63
355	25	2,26	0,73	1,53	1,87
364	9	1,79	0,73	1,06	1,30

**Tab. 7.1** Tabulka teoretických a prakticky využitelných průtoků

Kde:

$\tau$ ... počet dní v roce po které bude alespoň průtok  $Q$  [dny]

$\Delta\tau$ ... četnost dní pro daný interval [dny]

$Q$ ... průtok dle roční odtokové křivky [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

$Q_{\text{asan}}$ ... asanační průtok [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

$Q_{\text{teor-využ}}$ ... teoreticky využitelný průtok pro MVE [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

$Q_{\text{prak-využ}}$ ... průměrný prakticky využitelný průtok pro MVE [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

### Příklad výpočtu pro poslední řádek tabulky

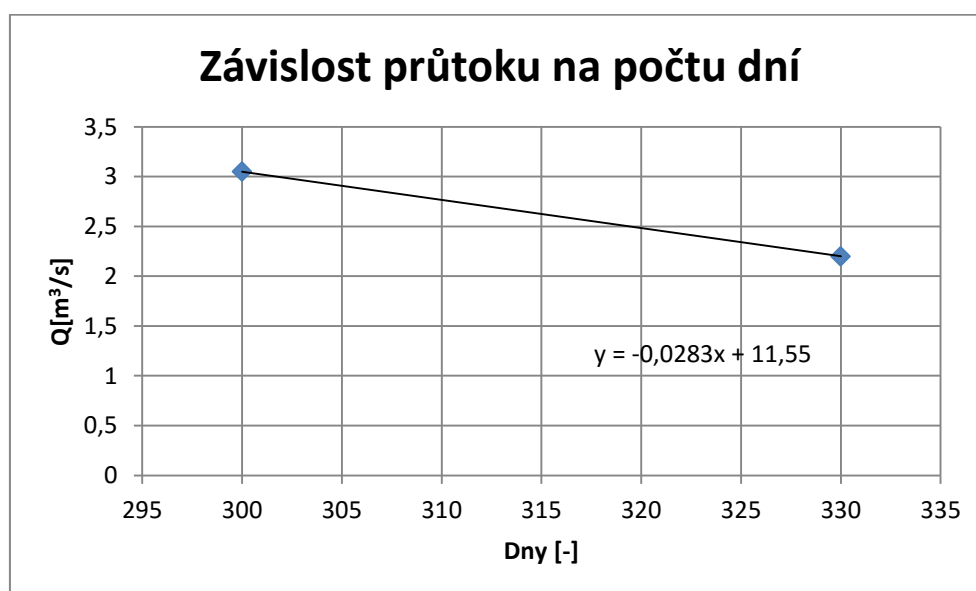
$$Q_{teor-využ} = Q - Q_{asan} [m^3/s] \quad (3)$$

$$Q_{teor-využ} = 1,79 - 0,73 = 1,06 [m^3/s]$$

$$Q_{prak-využ} = \frac{Q_{teor-využ(364)} + Q_{teor-využ(355)}}{2} [m^3/s] \quad (4)$$

$$Q_{prak-využ} = \frac{1,06 + 1,53}{2} = 1,30 [m^3/s]$$

Z tab. 7.1 je vidět že, mezi 300 a 330 dnem označených v tabulce červeně, dojde k poklesu průtoku pod minimální průtok. Abych zjistil, který den bude MVE naposledy v provozu udělám graf, kde budou dvě hodnoty teoreticky využitelného průtoku, které odpovídají výše zmíněným dnům. Těmito dny jsem proložil spojnici trendů a zobrazil rovnici regrese ze, které následně spočítám poslední den, kdy MVE bude fungovat.



**Obr. 7.1** Graf závislosti průtoku na počtu dní

Z obr. 7.1, a i po dosazení do rovnice za y minimální průtok vyplývá, že MVE pojede naposledy 329 den.

$$y = -0,0283x + 11,55 [m^3/s] \quad (5)$$

$$y = (-0,0283 \cdot 329) + 11,55 = 2,23 [m^3/s]$$

Kde:

$y$ ... průtok [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

$x$ ... den [dny]

Řádek tabulky jsem rozšířil na dny, kdy ještě MVE pojede viz. tab. 7.2 červené označení.

$\tau$	$\Delta\tau$	$Q$	$Q_{\text{asan}}$	$Q_{\text{teor-využ}}$	$Q_{\text{prak-využ}}$
329	29	1,50	0,73	2,23	2,64
330	1	2,93	0,73	2,2	2,22
355	25	2,26	0,73	1,53	1,87
364	9	1,79	0,73	1,06	1,30

**Tab. 7.2** Rozšířená tabulka teoreticky a prakticky využitelných průtoků

## 8. Stanovení množství vyrobené elektrické energie v jednotlivých časových intervalech

K určení množství vyrobené energie jsem musel spočítat výkon a účinnost v jednotlivých měsících.

### Určení základu logaritmu pro výkon

Výpočet jsem prováděl stejně jako v kapitole 6. a použil jsem rovnici (1)

$$20,4 = \log_x 1000 - \log_x 1$$

$$20,4 = \log_x \frac{1000}{1}$$

$$x^{20,4} = 1000$$

$$x = \sqrt[20,4]{1000}$$

$$x = 1,403$$

### **Výpočet výkonů ve zvolených průtocích**

Pro výpočet zvolených průtoků jsem použil rovnici (2)

### Výkon pro průtok $8 \text{ m}^3/\text{s}$

$$a = 10^{16,15 \log 1,403 + \log 1} = 10^{2,37} = 237,1 \text{ kW}$$

Výkon pro průtok 5 m<sup>3</sup>/s

$$a = 10^{14,75 ; \log 1,403 + \log 1} = 10^{2,046} = 147,6 \text{ kW}$$

Výkon pro průtok 2,23 m<sup>3</sup>/s

$$a = 10^{12,35 \log 1,403 + \log 1} = 10^{1,75} = 65,6 \text{ kW}$$

### **Výpočet účinnosti**

$$\eta = \frac{P}{\rho \cdot g \cdot H \cdot Q_{\text{prak-využ}}} \cdot 100 [\%] \quad (6)$$

Kde:

$\eta$ ... účinnost v daném interval [-]

$P$ ... výkon [kW]

$\rho$ ... hustota [kg/m<sup>3</sup>]

$H$ ... spád [m]

$Q_{\text{prak-využ}}$ ... průměrný praktický využitelný průtok pro MVE v daném období  $\Delta\tau$

### **Účinnost turbíny**

Účinnost turbíny pro výkon 237,1 kW

$$\eta_{\text{turb}} = \frac{237\,100}{1000 \cdot 9,81 \cdot 3,3 \cdot 8} \cdot 100 = 91 \%$$

Účinnost turbíny pro výkon 147,6 kW

$$\eta_{\text{turb}} = \frac{147\,600}{1000 \cdot 9,81 \cdot 3,3 \cdot 5} \cdot 100 = 91 \%$$

Účinnost turbíny pro výkon 65,5 kW

$$\eta_{\text{turb}} = \frac{65\,500}{1000 \cdot 9,81 \cdot 3,3 \cdot 2,23} \cdot 100 = 91 \%$$

Účinnost turbíny je tedy konstantní 91 % .



## Množství vyrobené energie

$\tau$	$\Delta\tau$	$Q$	$Q_{\text{prak.využ.}}$	$\eta$	$P$	$A_{\text{el-100\%}}$	$A_{\text{el}}$	$t_{\text{vp}}$
(dny)	(dny)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(%)	(kW)	(kWh)	(kWh)	(ks)
30	28	34,40	16,00	0,86	445	299040	284088	2
60	30	23,39	16,00	0,86	445	320400	304380	2
90	30	16,80	16,00	0,86	445	320400	304380	2
120	30	12,92	14,13	0,86	393	282960	268812	2
150	30	10,46	10,96	0,86	305	219600	208620	2
180	30	8,71	8,86	0,86	247	177840	168948	2
210	30	7,27	7,26	0,86	202	145440	138168	1
240	30	5,97	5,89	0,86	164	118080	112176	1
270	30	4,79	4,65	0,86	129	92880	88236	1
300	30	3,78	3,56	0,86	99	71280	67716	1
329	29	1,50	2,64	0,86	74	51504	48929	1
330	1	2,93	2,22	0,86	0	0	0	0
355	25	2,26	1,87	0,86	0	0	0	0
364	9	1,79	1,30	0,86	0	0	0	0

**Tab. 8.1** Množství vyrobené energie

Kde:

$\tau$ ... počet dní v roce, kdy bude průtok alespoň  $Q$  [dny]

$\Delta\tau$ ... četnost dní v daném časovém intervalu [dny]

$Q$ ... průtok [m<sup>3</sup>/s]

$Q_{\text{prak-využ.}}$ ... průměrně prakticky využitelný průtok pro MVE v daném časovém  $\Delta\tau$  [m<sup>3</sup>/s]

$P$ ... výkon [kW]

$A_{\text{el-100\%}}$ ... teoretické množství vyrobené el. energie bez prostojů (100% využití času) [kWh]

$A_{\text{el}}$ ... reálné množství vyrobené el. energie s časovými prostoji (95% využití času) [kWh]

$\eta$ ... celková účinnost (účinnost generátoru a turbíny) [-]

$t_{\text{vp}}$ ... počet turbín v provozu [kusy]

Příklad výpočtu pro první řádek tabulky:

### **Celková účinnost**

$$\eta = \eta_{turb} \cdot \eta_{gen} \cdot 100 [\%] \quad (7)$$

$$\eta = 0,91 \cdot 0,95 \cdot 100 = 86 [\%]$$

Kde:

$\eta_{turb}$ ... účinnost turbíny (91%) [-]

$\eta_{gen}$ ... účinnost generátoru (95%) [-]

### **Výkon [1]**

$$P = \rho \cdot Q_{prak-využ} \cdot g \cdot H \cdot \eta [kW] \quad (8)$$

$$P = 1000 \cdot 16 \cdot 9,81 \cdot 3,3 \cdot 0,86 = 445 [kW]$$

Kde:

$\rho$ ... hustota [ $m^3/s$ ]

$H$ ... spád [m]

$g$ ... gravitační zrychlení [ $m/s^2$ ]

$\eta$ ... účinnost generátoru [-]

$Q_{prak-využ}$ ... průměrně prakticky využitelný průtok pro MVE v daném časovém intervalu [ $m^3/s$ ]

### **Množství vyrobené energie teoretické**

Součin výkonu, četností dní a 24 hodin.

$$A_{el-100\%} = P \cdot \Delta\tau \cdot 24 [kWh] \quad (9)$$

$$A_{el-100\%} = 445 \cdot 28 \cdot 24 = 299\,040 [kWh]$$

Kde:

$P$ ... výkon [kW]

$\Delta\tau$ ... četnost dní v daném časovém intervalu [dny]

### Reálné množství vyrobené energie

$$A_{el} = A_{el-100\%} \cdot m \text{ [kWh]} \quad (10)$$

$$A_{el} = 299\,040 \cdot 0,95 = 284\,088 \text{ [kWh]}$$

Kde:

$A_{el-100\%}$ ... teoretické množství vyrobené el. Energie bez prostojů (100% využití času) [kWh]

$m$ ... součinitel využití MVE ( $m=0,95$ ) [-]

### Turbíny v provozu

Navrhl jsem dvě stejné turbíny. Jedna turbína se spustí při prakticky využitelném průtoku  $2,23 \text{ m}^3/\text{s}$ . Druhá turbína se spustí po naplnění maximální hlnosti první turbíny  $\text{tz. } 8 \text{ m}^3/\text{s}$  viz. tab. 8.1.

### Množství vyrobené energie za rok

Celkové množství vyrobené elektrické energie jsem vypočetl tak, že jsem sečetl všechny reálné hodnoty množství energie  $A_{el}$  z tab. 8.1. Z celkové získané energie musím odečíst část energie, která pokryje provoz MVE a to činí 1% z celkové získané energie.

#### Množství vyrobené energie za rok

$$A_{el-rok} = \sum A_{el} \text{ [kWh]} \quad (11)$$

$$A_{el-rok} = 1\,994\,453 \text{ [kWh]}$$

#### Energie na provoz MVE

$$A_{el-vl} = \frac{A_{el-rok}}{100} \text{ [kWh]} \quad (12)$$

$$A_{el-vl} = \frac{1\,994\,453}{100} = 19\,945 \text{ [kWh]}$$

## 9. Stanovení součinitele využití instalovaného výkonu, odhad investičních nákladů

$$k_r = \frac{w_r}{P_i \cdot h} = \frac{(A_{el-rok}) - (A_{el-vl})}{P_i \cdot 365 \cdot 24} [-] \quad (13)$$

$$k_r = \frac{1\,994\,453 - 19\,945}{445 \cdot 365 \cdot 24} = 0,51$$

Kde:

$k_r$ ... součinitel instalovaného výkonu, koeficient ročního využití [-]

$w_r$ ... vyjadřuje množství vyrobené energie za rok [kWh]

$P_i$ ... instalovaný výkon [kW]

$h$ ... počet hodin, které má rok [hod]

### **Roční využití instalovaného výkonu**

$$RV P_i = k_r \cdot 24 \cdot 365 [kWh/kWe] \quad (14)$$

$$RV P_i = 0,51 \cdot 24 \cdot 365 = 4\,468 [kWh/kWe]$$

Kde:

$k_r$ ... součinitel instalovaného výkonu [-]

Ve vyhlášce č. 475/2005 Sb. indikativní hodnoty technických a ekonomických parametrů jsem si vyhledal můj roční instalovaný výkon a k němu celkovou výši stanovení měrných investičních nákladů.

Ročnímu instalovanému výkonu 4 468 [kWh/kWe] odpovídají měrné investiční náklady 110 000 [Kč/kWe].

### **Celkové investiční náklady**

$$IN = MIN \cdot P_i [Kč] \quad (15)$$

$$IN = 110\,000 \cdot 445 = 48\,950\,000 [Kč]$$

Kde:

$MIN$ ... měrné investiční náklady [Kč]

$P_i$ ... instalovaný výkon [kW]

## 10. Doba návratnosti

Na stránkách energetického regulačního úřadu cenového rozhodnutí č. 5/2015 jsem si vyhledal výkupní cenu elektrické energie pro malé vodní elektrárny viz. obr. 9.1

ř./sl.	Podporovaný druh energie	Datum uvedení výroby do provozu (nebo splnění podmínky bodu 1.6.5.)		Jednotarifní pásmo provozování		Dvoutarifní pásmo provozování	
		od (včetně)	do (včetně)	Výkupní ceny [Kč/MWh]	Zelené bonusy [Kč/MWh]	Zelené bonusy [Kč/MWh]	
						VT	NT
	a	b	c	j	k	n	o
100	Malá vodní elektrárna ve stávajících lokalitách splňující podmínku bodu 1.6.6.	1.1.2013	31.12.2015	2 069	1 369	1 677	1 063
101	Malá vodní elektrárna ve stávajících lokalitách	1.1.2013	31.12.2013	2 652	1 952	2 447	1 553
102		1.1.2014	31.12.2014	2 600	1 900	-	-
103		1.1.2015	31.12.2015	2 549	1 849	-	-
110	Rekonstruovaná malá vodní elektrárna	1.1.2013	31.12.2013	2 652	1 952	2 447	1 553
111		1.1.2014	31.12.2014	2 600	1 900	-	-
112		1.1.2015	31.12.2015	2 549	1 849	-	-
125	Malá vodní elektrárna v nových lokalitách	1.1.2013	31.12.2013	3 428	2 728	2 777	2 552
126		1.1.2014	31.12.2014	3 361	2 661	-	-
127		1.1.2015	31.12.2015	3 295	2 595	-	-

**Obr. 9.1** Výkupní ceny elektřiny [20]

### Příjmy

$$CF = (A_{el-rok} - A_{el-vl}) \cdot vc \text{ [Kč]} \quad (16)$$

$$CF = (1\,994\,453 - 19\,945) \cdot 3,295 = 6\,506\,004 \text{ [Kč]}$$

Kde:

$A_{el-rok}$ ... množství vyrobené energie za rok [kWh]

$A_{el-vl}$ ... provozní spotřeba [kWh]

$vc$ ... výkupní cena [Kč]

### **Prostá doba návratnosti**

Spočetl jsem ji jako podíl nákladů a příjmů. Je to nejjednodušší vyjádření doby návratnosti. [21]

$$T_s = \frac{IN}{CF} [rok] \quad (17)$$

$$T_s = \frac{48\,950\,000}{6\,506\,004} = 7,5 [rok]$$

Kde:

*IN*... celkové investiční náklady [Kč]

*CF*... roční příjem [Kč]

### **Diskontní doba návratnosti**

Na rozdíl od prosté doby návratnosti diskontovaná doba návratnosti nepočítá pouze s prostým peněžním tokem, ale s diskontovaným. Diskont je tzv. alternativní náklad kapitálu neboli cena ušlé příležitosti. Diskont je výnos v procentech, tzn., že peníze, které bych investoval do MVE investuji do jiného projektu třeba na účet do banky, kde budu mít úrokovou sazbu 3% a to je ten diskont. Diskontní doba návratnosti je uvedena v tabulce 9.1 [21]

Rok	DCF	Příjmy	Náklady	Výnos		Návratnost
1	6316509	6316509	48950000	-42633491		–
2	6132533	12449042	48950000	-36500958		–
3	5953915	18402957	48950000	-30547043		–
4	5780500	24183457	48950000	-24766543		–
5	5612136	29795594	48950000	-19154406		–
6	5448676	35244269	48950000	-13705731		–
7	5289977	40534246	48950000	-8415754		–
8	5135900	45670146	48950000	-3279854		–
9	4986310	50656456	48950000	1706456		8,7
10	4841078	55497534	48950000	6547534		–
11	4700076	60197610	48950000	11247610		–
12	4563180	64760790	48950000	15810790		–
13	4430272	69191062	48950000	20241062		–
14	4301235	73492297	48950000	24542297		–
15	4175956	77668254	48950000	28718254		–
16	4054327	81722580	48950000	32772580		–
17	3936239	85658820	48950000	36708820		–
18	3821592	89480411	48950000	40530411		–
19	3710283	93190695	48950000	44240695		–
20	3602217	96792911	48950000	47842911		–
21	3497298	100290209	48950000	51340209		–
22	3395435	103685644	48950000	54735644		–
23	3296539	106982182	48950000	58032182		–
24	3200523	110182705	48950000	61232705		–
25	3107304	113290009	48950000	64340009		–
26	3016800	116306809	48950000	67356809		–
27	2928932	119235740	48950000	70285740		–
28	2843623	122079363	48950000	73129363		–
29	2760799	124840163	48950000	75890163		–
30	2680388	127520550	48950000	78570550	NPV	–

**Tab. 9.1** Diskontní doba návratnosti

DCF (diskontovaný roční peněžní tok)

$$DCF = \frac{CF}{(1+i)^n} [Kč] \quad (18)$$

$$DCF = \frac{6\,506\,004}{(1+0,03)^1} = 6\,316\,509 [Kč]$$

Kde:

$CF$ ... celkový roční příjem [Kč]

$i$ ... diskont [-]

$n$ ... rok [rok]

### Příjmy

Je to suma diskontovaného ročního peněžního toku daného roku plus roky předešlé.

$$Příjmy = \sum_{j=1}^n DCF [Kč] \quad (19)$$

$$Příjmy = \sum_{j=1}^1 6\,316\,509 [Kč]$$

### Náklady

Celkové investiční náklady jsem vypočetl, už výše, ty zůstávají neměnné.

### Výnos

$$Výnos = Příjmy - Náklady [Kč] \quad (20)$$

$$Výnos = 6\,316\,509 - 48\,950\,000 = -42\,633\,491 [Kč]$$

### Návratnost

Z tabulky je zřejmé, že návratnost investičních nákladů je mezi 8 až 9 rokem. Výnos má přímkovou charakteristiku, tzn., že abych zjistil, kdy přesně bude má investice rovna nule, potřebuju znát směrnicové rovnice přímk, které upravím a tím dojdou ke vzorci pro návratnost.

$$y = k \cdot x + q \quad (21)$$

$$k = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (22)$$

$$q = y_2 - k \cdot x_2 \quad (23)$$



Konečný vzorec pro návratnost:

$$Návratnost = - \frac{výnos_n \cdot \frac{výnos_n - výnos_{n-1}}{rok_n - rok_{n-1}} \cdot rok_n}{\frac{výnos_n - výnos_{n-1}}{rok_n - rok_{n-1}}} [rok] \quad (24)$$

Návratnost, jak je možno vidět z tabulky bude mezi 9 až 10 rokem proto volím za  $n=10$ .

$$Návratnost = - \frac{1\,706\,456 - \frac{1\,706\,456 - (-3\,279\,854)}{9-8} \cdot 9}{\frac{1\,706\,456 - (-3\,279\,854)}{9-8}} = 8,7 [rok]$$

### **Výnosové procento**

Výnosové procento nám pomáhá při hodnocení efektivnosti investice. Jedná se o diskont kdy se NPV (čistá současná hodnota) investice se rovná 0. Čím je výnosové procento vyšší, tím spíše lze doporučit projekt k realizaci. Výnosové procento jsem získal v exelu pomocí citlivostní analýzy, kde jsem využil funkci hledání řešení. Ve funkci hledání řešení jsem nastavil za nastavenou buňku poslední řádek výnosu, cílovou hodnotou byla 0 a měněná buňka byl diskont 0,03. Následně se celá tabulka 9.1 přepočítala na 9.2 a výnosové procento vyšlo 13,1% takže je vyšší než původní diskont 3%, to znamená, že projekt můžeme zrealizovat. [20]

Rok	DCF	Příjmy	Náklady	Výnos	
1	5751794	6316509	48950000	-42633491	
2	5085015	11401524	48950000	-37548476	
3	4495534	15897058	48950000	-33052942	
4	3974388	19871445	48950000	-29078555	
5	3513656	23385101	48950000	-25564899	
6	3106334	26491435	48950000	-22458565	
7	2746231	29237666	48950000	-19712334	
8	2427874	31665540	48950000	-17284460	
9	2146422	33811962	48950000	-15138038	
10	1897597	35709559	48950000	-13240441	
11	1677618	37387177	48950000	-11562823	
12	1483139	38870316	48950000	-10079684	
13	1311206	40181522	48950000	-8768478	
14	1159204	41340727	48950000	-7609273	
15	1024823	42365550	48950000	-6584450	
16	906020	43271570	48950000	-5678430	
17	800990	44072559	48950000	-4877441	
18	708135	44780694	48950000	-4169306	
19	626044	45406738	48950000	-3543262	
20	553470	45960207	48950000	-2989793	
21	489308	46449516	48950000	-2500484	
22	432585	46882101	48950000	-2067899	
23	382438	47264539	48950000	-1685461	
24	338103	47602642	48950000	-1347358	
25	298909	47901551	48950000	-1048449	
26	264258	48165809	48950000	-784191	
27	233624	48399432	48950000	-550568	
28	206541	48605973	48950000	-344027	
29	182597	48788570	48950000	-161430	
30	161430	48950000	48950000	0	NPV

**Tab. 9.2** Upravená tabulka návratnosti

## 11. Ekologie

V ekologii jsem se zaměřil na množství nevyprodukovaných emisí. [22]

Emise [kg/GJ]					
TL	SO <sub>2</sub>	No <sub>x</sub>	CO	Organické látky	CO <sub>2</sub>
0,02591	0,489376	0,415698	0,0393	0,03086	325
Ušetřené emise [kg/rok]					
186	3514	32985	282	222	2 333 500

**Tab. 10.1** Ušetřené emise

Množství vyprodukované energie za rok převedu na GJ, které následovně vynásobím emisními faktory. Takto spočtu všechny ušetřené emise.

### Převod

$$1 [kWh] = 3,6 [MJ]$$

$$A_{el-rok} = 1\,994\,453 [kWh] \cdot 3,6 [MJ] = 7\,180\,031 [MJ] = 7180 [GJ]$$

Kde:

$A_{el-rok}$ ... množství vyrobené energie za rok [kWh]

Příklad výpočtu nevyprodukovaných tuhých látek (TL)

$$TL_{uš} = A_{el-rok} \cdot TL [kg] \tag{25}$$

$$TL_{uš} = 7180 \cdot 0,02591 = 186 [kg/rok]$$

Ostatní jsem spočetl stejně.

## 12. Závěr

V první části mé bakalářské práce jsem popsal historii vodní energetiky u nás, typy a rozdělení vodních turbín. V České republice malé vodní elektrárny mají velkou perspektivu, protože velké řeky jsou u nás už zastavěné vodními elektrárnami, ale je zde mnoho menších toků s dobrým hydroenergetickým potenciálem pro malou vodní elektrárnu. Vodní energie je z hlediska obnovitelných zdrojů ta „nejlepší“, protože má konstantní dodávky elektrické energie do sítě na rozdíl od energie slunce kdy je noc a den nebo od energie větru, kde jednou fouká vítr a pak zase ne.

V praktické části jsem se zaměřil na přesnou lokalitu Ostrava-Svinov, vodní tok Odry, kde z hydrologických údajů zjištěných z povodí Odry jsem navrhl dvě stejné vodní turbíny S-Kaplan o průměru 1300 mm. Ročně malá vodní elektrárna vyrobí 1 994 453 kWh elektrické energie. Dále jsem spočítal čistě teoreticky podle ročního instalovaného výkonu, kde připadají určité měrné investiční náklady na 1 kW výkonu, celkovou investici projektu a ta činí 48 950 000 Kč. Doba návratnosti bude trvat 8,7 let. Roční příjem je 6 506 004 Kč, životnost projektu je 30 let. Hodnota diskontu se předpokládá 3%. Mé vypočtené výnosové procento činí 13,1% to znamená, že projekt lze schválit k realizaci. Na závěr jsem provedl ekologické a environmentální zhodnocení mé malé vodní elektrárny ročně tímto ušetřím 186 kg tuhých látek, 3514 kg SO<sub>2</sub>, 32 985 kg NO<sub>x</sub>, 282 kg CO, 222 kg organických látek a 2 333 500 kg CO<sub>2</sub>.

## 12. Literatura

- [1] KAMINSKÝ, Jaroslav a Mojmír VRTEK. *Obnovitelné zdroje energie*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 1998. ISBN 80-7078-445-8.
- [2] KMINIAK, Pavel. *Vodné mikroelektrárne*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1990. ISBN 80-05-00771-X.
- [3] GABRIEL, Pavel, František ČIHÁK a Petr KALANDRA. *Malé vodní elektrárny*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické, 1998. ISBN 80-01-01812-1.
- [4] BEDNÁŘ, Josef. *Turbíny: (malé vodní elektrárny)*. Českovice: Marcela Bednářová, c2013. ISBN 978-80-905437-0-6.
- [5] MELICHAR, Jan, Jan VOJTEK a Jaroslav BLÁHA. *Malé vodní turbíny: konstrukce a provoz*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1998. ISBN 80-01-01808-3.
- [6] GULLIVER, John S a Roger E ARNDT. *Hydropower engineering handbook*. New York: McGraw-Hill, c1991. ISBN 0070251932.
- [7] *Fourneyronova turbína* [online]. [cit. 2015-11-13]. Dostupné z: <<http://mve.energetika.cz/historicketurbiny/fourneyron.htm>>.
- [8] *Peltonova turbína* [online]. [cit. 2015-11-13]. Dostupné z: <[http://www.energyweb.cz/web/schemata/vodni/img/pelton\\_schema.htm](http://www.energyweb.cz/web/schemata/vodni/img/pelton_schema.htm)>.
- [9] *Francisova turbína* [online]. [cit. 2015-11-15]. Dostupné z: <[https://cs.wikipedia.org/wiki/Fancisova\\_turb%C3%ADna](https://cs.wikipedia.org/wiki/Fancisova_turb%C3%ADna)>.
- [10] *Kaplanova turbína* [online]. [cit. 2015-11-15]. Dostupné z: <[https://cs.wikipedia.org/wiki/Kaplanova\\_turb%C3%ADna](https://cs.wikipedia.org/wiki/Kaplanova_turb%C3%ADna)>.
- [11] *Bankiho turbína* [online]. [cit. 2015-11-18]. Dostupné z: <[https://cs.wikipedia.org/wiki/B%C3%A1nkiho\\_turb%C3%ADna](https://cs.wikipedia.org/wiki/B%C3%A1nkiho_turb%C3%ADna)>.
- [12] *Teslova turbína* [online]. [cit. 2015-11-18]. Dostupné z: <[https://cs.wikipedia.org/wiki/Teslova\\_turb%C3%ADna](https://cs.wikipedia.org/wiki/Teslova_turb%C3%ADna)>.
- [13] *SETUR turbína* [online]. [cit. 2015-11-25]. Dostupné z: <<https://cs.wikipedia.org/wiki/SETUR>>.
- [14] *Vírová turbína* [online]. [cit. 2016-15-01]. Dostupné z: <[https://cs.wikipedia.org/wiki/V%C3%ADrov%C3%A1\\_elektr%C3%A1rna](https://cs.wikipedia.org/wiki/V%C3%ADrov%C3%A1_elektr%C3%A1rna)>.
- [15] *Abeceda malých vodních pohonů* [online]. [cit. 2016-01-11]. Dostupné z: <<http://mve.energetika.cz/>>.
- [16] *Malé vodní elektrárny* [online]. [cit. 2016-02-13]. Dostupné z: <<http://www.priroda.cz/clanky.php?detail=1266>>.

- [17] *Malé vodní elektrárny* [online]. [cit. 2016-02-13]. Dostupné z:< <http://denik.obce.cz/clanek.asp?id=6662402>>.
- [18] *Vodní turbíny* [online]. [cit. 2016-02-14]. Dostupné z:< [https://cs.wikipedia.org/wiki/Vodn%C3%AD\\_turb%C3%ADna](https://cs.wikipedia.org/wiki/Vodn%C3%AD_turb%C3%ADna)>.
- [19] *ČKD Blansko* [online]. [cit. 2016-02-19]. Dostupné z:<<http://www.ckdblansko.cz/>>.
- [20] *Cenové rozhodnutí energetického regulačního úřadu* [online]. 2015 [cit. 2016-04-]. Dostupné z: <<https://www.eru.cz/-/cenove-rozhodnuti-c-5-2015>>.
- [21] CHADIM, Tomáš.: *Výpočtová pomůcka EKONOMICKÁ EFEKTIVNOST INVESTIC (II)* [online]. [cit. 2016-03-12]. Dostupné z:< <http://www.tzb-info.cz/2786-vypoctova-pomucka-ekonomicka-efektivnost-investic-ii>>.
- [22] VRTEK, Mojmír. *Obnovitelné zdroje energie*. Ostrava, 2015. Přednáška. VŠB-TU Ostrava.

### 13. Seznam obrázků

<b>Obr. 5.1</b> Fourneyronova turbína.....	15
<b>Obr. 5.2</b> Peltonova turbína .....	16
<b>Obr. 5.3</b> Francisova turbína .....	17
<b>Obr. 5.4</b> Kaplanova turbína.....	18
<b>Obr. 5.5</b> Bankiho turbína .....	18
<b>Obr. 5.6</b> Teslova turbína .....	19
<b>Obr. 5.7</b> Turbína SETUR.....	20
<b>Obr. 5.8</b> Vírová turbína.....	22
<b>Obr. 6.1</b> Pomocný graf s rovnicí regrese pro dopočítání ostatních průtoků .....	23
<b>Obr. 6.2</b> Graf odtokové křivky.....	24
<b>Obr. 6.3</b> Diagram Kaplanovy turbíny .....	26
<b>Obr. 7.1</b> Graf závislosti průtoku na počtu dní.....	30
<b>Obr. 9.1</b> Výkupní ceny elektřiny.....	37

## 14. Seznam tabulek

<b>Tab. 3.1</b> Rozdělení vodních elektráren .....	11
<b>Tab. 6.1</b> Naměřené průtoky v lokalitě (neúplná tabulka).....	23
<b>Tab. 6.2</b> Úplná tabulka průtoků.....	24
<b>Tab. 7.1</b> Tabulka teoretických a prakticky využitelných průtoků.....	29
<b>Tab. 7.2</b> Rozšířená tabulka teoreticky a prakticky využitelných průtoků.....	31
<b>Tab. 8.1</b> Množství vyrobené energie .....	33
<b>Tab. 9.1</b> Diskontní doba návratnosti .....	39
<b>Tab. 9.2</b> Upravená tabulka návratnosti .....	42
<b>Tab. 10.1</b> Ušetřené emise .....	43